УДК 621.313

МАГНИТНЫЕ ПОТОКИ РАССЕЯНИЯ В ДВИГАТЕЛЕ С КАТЯЩИМСЯ РОТОРОМ И СПОСОБ ИХ УЧЕТА

В.В. Наний, доцент, канд. техн. наук, Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», г. Харьков, Украина

e-mail: v.naniy@mail.ru, тел. +3(098) 824 65 59

А.М. Масленников, ассистент, канд. техн. наук, Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», г. Харьков, Украина

e-mail: x-maslennikov@yandex.ru, тел. +3(066) 780 97 83

А.А. Дунев, ассистент, Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт» г. Харьков, Украина

e-mail: lex_from_kharkov@ mail.ru, тел. +3(096) 909 11 04

Проведено исследование типов магнитных потоков рассеяния в двигателе с катящимся ротором (ДКР) с помощью 2D и 3D моделирования и предложен способ их учета

Ключевые слова: двигатель с катящимся ротором, магнитный поток рассеяния, магнитная система

MAGNETIC FLUX OF DISPERSION FLUXES IN THE ENGINE ROLLING ROTOR AND METHOD OF ACCOUNTING

V.V. Naniy, associate professor, Ph.D., National technical university «Kharkiv Polytechnic Institute», Kharkov, Ukraine

e-mail: v.naniy@mail.ru, tel. +3(098) 824 65 59

A.M. Maslennikov, assistant, Ph.D., National technical university «Kharkiv Polytechnic Institute», Kharkov, Ukraine

e-mail: x-maslennikov@yandex.ru, tel. +3(066) 780 97 83

A.A. Dunev, assistant, National technical university «Kharkiv Polytechnic Institute», Kharkov, Ukraine

e-mail: lex_from_kharkov@ mail.ru, tel. +3(096) 909 11 04

A study of the types of magnetic flux dissipation in the rolling rotor motor (RRM) was provided by using 2D and 3D modeling and a method for their accounting was proposed

Keywords: engine rolling rotor, magnetic flux of dispersion, magnetic system

Расчет и анализ магнитного поля позволяет создавать конструкции электрических машин с высокой степенью насыщения и максимальным использованием материала магнитной системы. Двигатели с катящимся ротором (ДКР) относятся к числу микродвигателей и двигателей малой мощности. КПД таких двигателей зависит от ряда факторов, среди которых можно выделить степень насыщения магнитопровода. Известно, что в слабонасыщенных магнитных системах магнитный поток рассеяния можно не учитывать в виду его малости относительно основного магнитного потока. Повышая степень насыщения магнитопровода, увеличивается значение потоков рассеяния, то есть часть потребленной энергии расходуется на создание потока рассеяния, который не выполняет полезной работы.

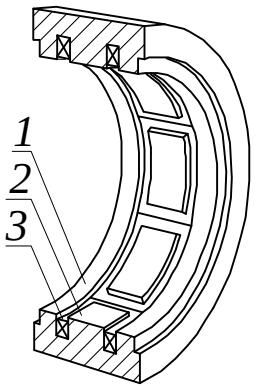
На настоящее время доступная информация по расчету и анализу магнитного поля в ДКР отражает вопросы расчета основного магнитного поля, но не рассмотрены вопросы учета магнитного поля рассеяния [1].

В общем случае, магнитное поле рассеяния электрической машины – это поле, которое не принимает участия в электромеханическом преобразовании энергии. Магнитный поток этого поля связан только с одной обмоткой, находящейся либо на статоре, либо на роторе. В случае с реактивным ДКР – это обмотка статора.

Магнитное поле рассеяния классической электрической машины подразделяют на следующие основные составные части [2]:

- пазовое рассеяние;
- лобовое рассеяние;
- дифференциальное рассеяние.

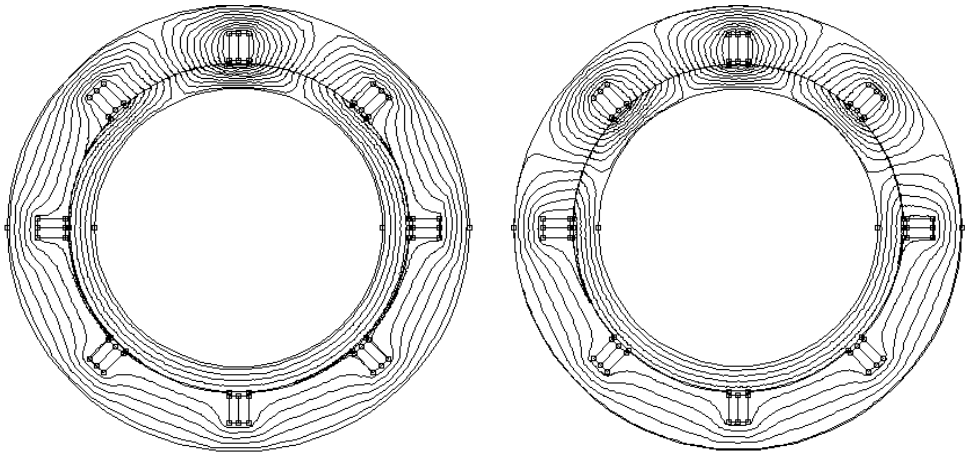
В ДКР имеются свои особенности существования магнитного поля рассеяния, связанные с необходимостью создания модулированного магнитного поля (несимметричного относительно поперечного сечения машины) и неравномерностью воздушного зазора.



1 – каток статора; *2* – зубец статора; *3* – секция обмотки статора.

Рисунок 1 – Обмотанный сердечник статора

Магнитные системы ДКР отличаются многообразием конструкций, каждая из которых соответствует своему способу создания силы одностороннего магнитного притяжения (СОМП) и, как следствие, ДКР обладают различными массогабаритными показателями [3]. Наилучшие массогабаритные показатели и использование магнитной системы достигаются в ДКР с Ш-образной конструкцией магнитопровода статора. Магнитные поля лобового рассеяния отсутствуют, так как обмотка полностью расположена в массиве магнитопровода статора (рис. 1). Вместе с этим присутствует магнитный поток, который замыкается по спинке магнитопровода статора и ротора в области секций обмотки статора, которые не находятся под напряжением (рис. 2).



а) б)

Рисунок 2 – Картина магнитного поля ДКР

а) запитано две секции статора

б) запитано четыре секции статора

Этот поток рассеяния назовем потоком рассеяния магнитопровода статора и ротора. Проанализируем его для ДКР с помощью программного комплекса 2-х мерного моделирования FEMM [4].

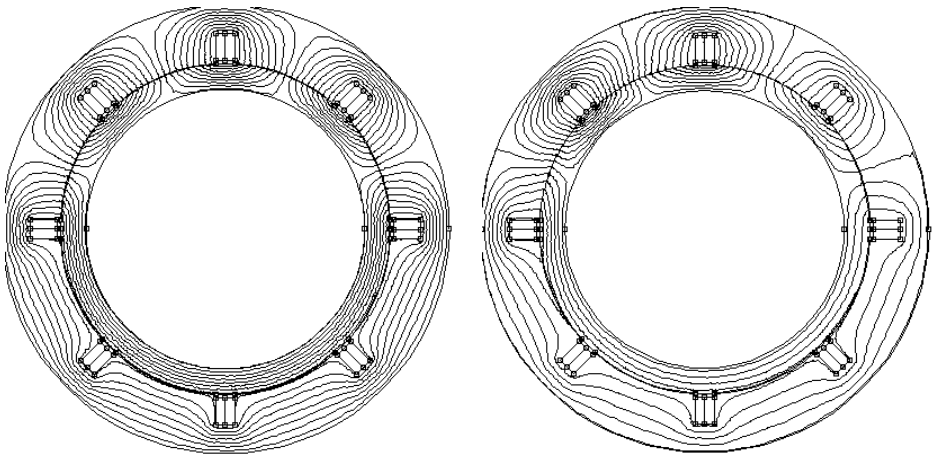
Как видно из рис. 2, при одинаковом значении тока секций обмотки статора, магнитный поток рассеяния в обоих случаях одинаковый, следовательно, удельная величина потока рассеяния при четырех работающих секциях будет вдвое меньше, чем при двух. Соответствующая пропорция сохранится и при трех запитанных секциях.

Используя полученные картины, легко рассчитать, по известному значению магнитной индукции и площади поперечного сечения магнитопровда, величину потока рассеяния магнитопровода.

Теперь проанализируем картины магнитного поля в режиме холостого хода и в режиме нагрузки. Режим холостого хода ДКР это режим, при котором вектор результирующей СОМП совпадает (в идеальном случае) с линией контакта ротор-статор. В режиме нагрузки ДКР существует момент, противодействующий вращению ротора и создающий угол Θ – угол между линией контакта и положением вектора СОМП. В обоих случаях количество запитанных секций статора и их геометрическое положение в пространстве неизменно (рис. 3).

Как видно из этого рисунка, магнитный поток рассеяния магнитопроводов статора и ротора в режиме нагрузки значительно меньше (в представленном случае, почти в два раза), чем в режиме холостого хода. Следовательно, режим холостого хода для ДКР в электромагнитном отношении является нежелательным.

При усовершенствовании массогабаритных показателей двигателя, была получена конструкция магнитопровода статора с наружными прорезями в местах расположения продольных пазов статора.



а) б)

Рисунок 3 – Картина магнитного поля ДКР при разных Θ

а) Θ = 0º;

б) Θ = 35º.

Анализ этой конструкции при оценке потоков рассеяния, подтвердил эффективность этого исполнения (рис. 4). Как видно, для данного исполнения сердечника статора, поток рассеяния магнитопроводов статора и ротора практически отсутствует, прорези на поверхности машины действительно играют роль концентратора магнитного потока в рабочей зоне машины.

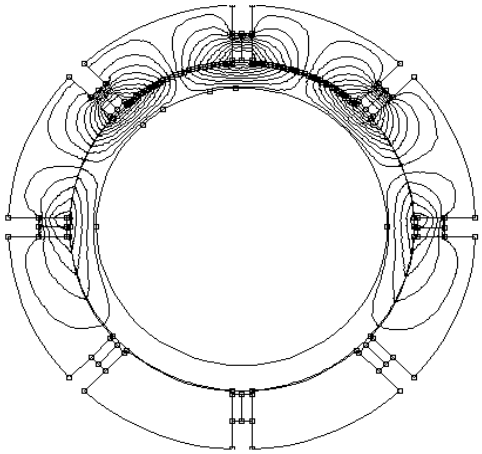


Рисунок 4 – Картина магнитного поля в магнитопроводе с наружными прорезями

Полученные картины магнитного поля, для данного исполнения магнитопровода статора в рабочем диапазоне нагрузок двигателя, показывают практически полное отсутствие потока рассеяния статора и ротора.

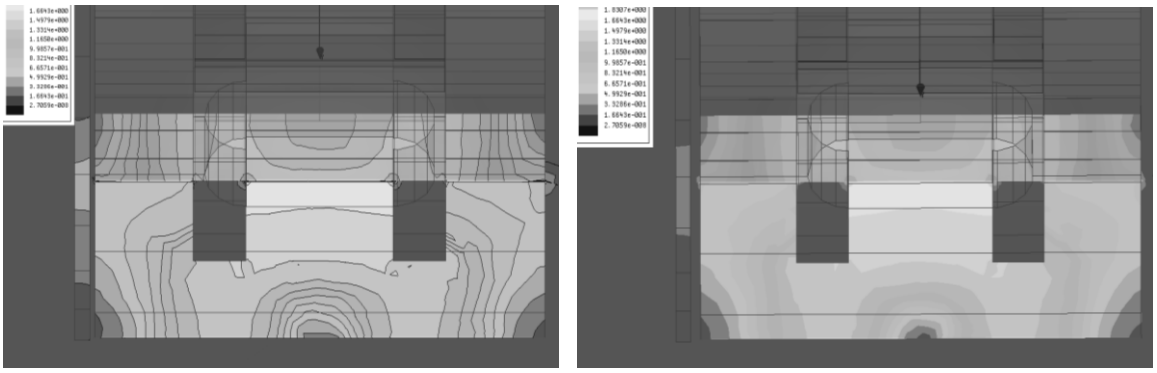
Необходимо отметить, что 2-х мерное моделирование для данной конструкции магнитопровода ДКР не может дать полной картины распределения магнитного поля, из-за невозможности получения расчетных данных в сечениях, проходящих по лобовой части обмотки и торцевым частям магнитопровода. Тем не менее, для качественной оценки общей картины магнитного поля и поля рассеяния в магнитопроводах статора и ротора пользоваться этим способом очень удобно при незначительных затратах времени.

В торцевых частях сердечников статора и ротора имеет место выпучивание векторов магнитной индукции, что впоследствии приводит к появлению торцевых потоков рассеяния. Подобные вопросы для микро- и машин малой мощности в литературе освещены очень ограничено [2].

Для анализа и оценки этой ситуации было применено 3-х мерное моделирование (рис. 5) с использованием программного комплекса ANSYS – Maxwell 3D [5].

Геометрическая модель магнитопровода двигателя дополнена в торцевых частях подшипниковым щитом, отстоящим от сердечников статора и ротора на различные расстояния, с целью оценки величины потока торцевого рассеяния. В этой модели подшипниковые щиты машины выполнены из конструкционной стали Ст3.

Проведенный анализ торцевой части магнитопровода ДКР демонстрирует наличие магнитного потока рассеяния, замыкающегося через подшипниковый щит. Увеличение расстояния между магнитопроводом и подшипниковым щитом до 2 мм снижает поток торцевого рассеяния в два раза.



а) б)

Рисунок 5 – Картина распределения магнитного поля ДКР в продольном сечении с подшипниковыми щитами

а) на расстоянии 1мм

б) на расстоянии 2 мм от магнитопровода

Данный анализ является необходимым не только для оценки электромагнитных процессов в ДКР, определения индуктивных сопротивлений, но и для непосредственного конструирования машины. Приведенный подход вполне может быть распространен и на другие, подобные в конструктивном отношении и принципе действия машины, такие как шаговые двигатели, вентильно-индукторные машины и машины с поперечным магнитным полем.

На рис. 6 представлена торцевая часть двигателя с подшипниковым щитом. Через подшипниковый щит замыкается торцевой магнитный поток рассеяния. Магнитная индукция в локальных зонах подшипникового щита достигает 0,5 Тл, а значение магнитной индукции в воздушном зазоре – 1,6 Тл.

По представленным картинам магнитного поля легко рассчитать площадь поверхности подшипникового щита с различными значениями магнитной индукции и для каждой из них рассчитать магнитный поток рассеяния. Сумма этих потоков будет равна потоку торцевого рассеяния.

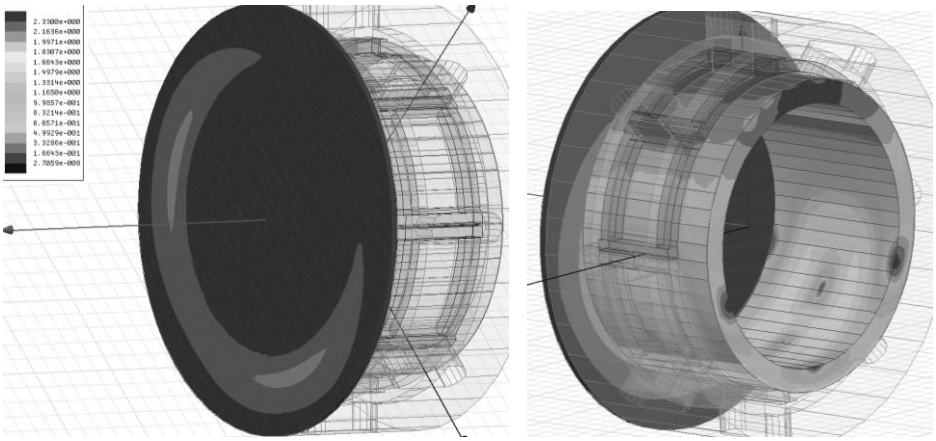


Рисунок 6 – Картина магнитного поля от торцевых потоков рассеивания

Трехмерные картины магнитного поля в сердечнике ДКР дают возможность, с удовлетворительной степенью точности, рассчитать магнитные потоки рассеяния магнитопроводов статора, ротора и торцевых частей.

Таким образом, магнитный поток рассеяния ДКР Ш-образной конструкции складывается из следующих составляющих:

- поток рассеяния магнитопроводов статора и ротора;
- потоки рассеяния торцевых частей магнитопровода.

В общем случае величину этих потоков можно определить с помощью следующего соотношения:

$$\Phi_{\sigma} = B_{\sigma r} \cdot S_r + \Phi_{\sigma t} \qquad (1)$$

где Φ_{σ} – суммарный поток рассеяния,

$B_{\sigma r}$ – среднее значение магнитной индукции потока рассеяния в участке магнитопровода ротора, находящегося за приделами рабочей зоны воздушного зазора;

$\Phi_{\sigma t}$ – торцевой поток рассеяния:

$$\Phi_{\sigma t} = \sum_{1}^{k} B_{it} \cdot S_{it} \qquad (1)$$

где B_{it} – значение магнитной индукции на i-ой площади поверхности торцевой зоны ДКР;

S_{it} – площадь поверхности торцевой зоны ДКР, в приделах которой B_{it} неизменна.

В приведенной формуле (1) значение потока рассеяния в магнитопроводе ротора определяется однозначно, так как известна площадь сечения спинки ротора и значение магнитной индукции в ней.

Выводы.

1. Полученные результаты показывают, что в зависимости от насыщения магнитопроводов и режима нагрузки машины, магнитный поток рассеяния ДКР, в рассматриваемой конструкции, составляет (5 – 15)% от основного потока двигателя. Естественно это сказывается на значении намагничивающего тока двигателя, потерях и, в конечном счете, на величине вращающего момента.

2. Отсутствие учета потоков рассеяния в ДКР – это ещё одна причина неточности аналитического расчета магнитной системы двигателя в результате чего невозможно создать высокоиспользуемую машину в электромагнитном отношении.

Список литературы:

1. Бертинов. А.И. Электрические машины с катящимся ротором / Бертинов А.И., Варлей В.В. – М.: Энергия, 1969. – 200 с.

2. Брускин Д.Э. и др. Электрические машины. В 2-х частях Ч.1: учеб. Для электротехн. спец. вузов. 2-е изд. перераб. и доп. / Брускин Д.Э., Зорохович А.Е., Хвостов В.С. – М.: Высш. шк., 1987. –319 с.: ил.

3. Наний В.В., Дунев А.А., Масленников А.М., Петренко Н.Я. Сравнение конструкций двигателей с катящимся ротором / В.В. Наний, А.А. Дунев, Н.Я. Петренко, А.М. Масленников // II Університетська науково-практична студентська конференція магістрантів Національного

технічного університету «Харківський політехнічний інститут», (Харків, 25-27 березня 2008 р.). – Харків : НТУ «ХПІ». – 2008. – Том 2. – С. 57 – 58.

4. User’s Manual. Finite Element Method Magnetics Version 4.2. [Электронный ресурс] / David Meeker // Режим доступа: http:// www.femm.info/Archives/doc/manual 42.pdf.

5. Единый центр поддержки продуктов ANSYS в России и странах СНГ [Электронный ресурс] / Режим доступа: http://www.ansys.com/.